



Evaluación de la eficiencia de los sistemas de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de concreto y plástico en la Hacienda Majavita



Mariluz Rueda González, Leidy Tatiana Velasco Poveda¹ y Haimar Ariel Vega Serrano²

¹Auxiliares de investigación. Ingenieras Ambientales Universidad Libre, mariluz-rueda@hotmail.com, leidys0808@hotmail.com

²Investigador principal. Ingeniero civil. Especialista en Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Docente adscrito al Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental GIAM, Universidad Libre Seccional Socorro. haimar.vega@mail.unilibresoc.edu.co

Recepción Artículo: Abril 18 de 2013. Aceptación mayo 26 de 2013

EL CENTAURO ISSN: 2027 - 1212

RESUMEN

Problema central: Se ha comprobado que la colmatación de los filtros del sistema FiME Hacienda Majavita es causado por la elevada presencia de sólidos y materia orgánica que modifican las características físico-químicas y microbiológicas del agua tratada en el FiME, debido a la erosión en el sendero aledaño al cauce y escorrentía superficial; disminuyendo la eficiencia en remoción de indicadores, principalmente en coliformes totales y fecales, haciéndose necesario la cloración del agua al final del proceso, para garantizar el cumplimiento de la resolución 2115 de 2007. **Objetivo:** Evaluar la eficiencia en los sistemas de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de concreto y plástico en la Hacienda Majavita implementando alternativas de mejora.

Figura 1. Sistema FiME plástico Hacienda Majavita



Metodología: Se realizó medición de caudal y toma de muestras para la determinación de la remoción de los indicadores. En la mitigación de sólidos en la quebrada se estableció cuatro presas de control de sedimentos en el cauce. Asimismo se implementó la unidad de desinfección y se determinó la dosis de hipoclorito de sodio diluido y sin diluir para comprobar la acción desinfectante. **Resultados:** El FiME en concreto remueve el 88% de turbiedad y 89% en color aparente, el sistema plástico 83% y 79% respectivamente. Las presas presentaron remociones de 65% SST, 67% turbiedad y 59% color aparente. En cuanto a la desinfección se encontró una cantidad de 10,6 mg/min NaClO sin dilución requerida para la eliminación de microorganismos patógenos. **Conclusión:** El sistema FiME es una alternativa de tratamiento eficiente en remoción de indicadores, debido que mejora las características físicas, químicas y microbiológicas del agua.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

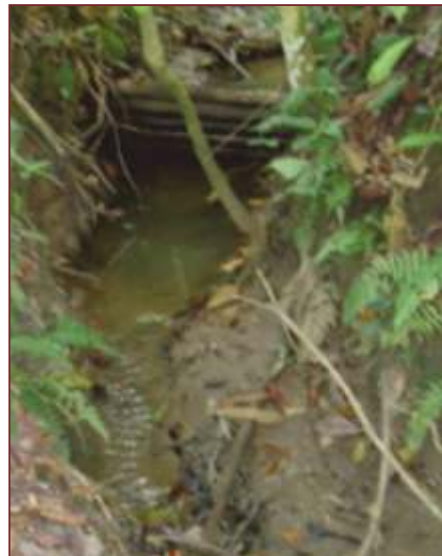
La crisis del agua en Colombia es un asunto de calidad antes que de cantidad, la principal contaminación proviene de los patógenos y nutrientes generados por la población urbana y la actividad agrícola, mayor a los vertimientos industriales. Naturalmente, el sistema institucional y administrativo, es decir la legislación del agua, ocupa también un puesto destacado en la situación. Los sistemas de captación y distribución presentan fallas de diseño y mantenimiento que llevan a altas pérdidas poniendo en riesgo el abastecimiento de la población en años secos, por deficiencias en los acueductos a pesar de contar con el recurso (Guhl, 2006:1)

El sistema de filtración en múltiples etapas FIME es una alternativa que permite mejorar las condiciones de la calidad del agua para el abastecimiento en el sector rural y pequeños municipios donde el tratamiento con productos químicos tiene un potencial limitado, siendo una opción viable en cuanto a costos de operación, mantenimiento, confiabilidad, limpieza y altos porcentajes de eficiencia, mejorando de esta manera las condiciones de vida para la comunidad (Sánchez, 2006:6).

En la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro se construyeron dos sistemas de filtración en múltiples etapas para evaluar sus condiciones de operación y comparar la eficiencia de las unidades en tanques plásticos respecto de las equivalentes en concreto, con especificaciones CEPIS OPS; los sistemas han sido evaluados y presentaron remociones altas. Las precipitaciones excesivas han colmatado las unidades disminuyendo considerablemente la carrera de los filtros. El mantenimiento continuo del sistema lo hace poco aceptable para los habitantes por el tiempo y la cantidad de agua requeridos, al ser dispendioso tener que retirar los sustratos del filtro, por ello se deben plantear soluciones factibles y económicas para mejorar el sistema (Avendaño et al, 2011: 9).

Además, la fuente de abastecimiento de agua superficial puede sufrir cambios en su calidad debido a la escorrentía durante los períodos de lluvia, como se observa en la fotografía 2, incrementando los niveles de turbiedad y color aparente, excediendo la capacidad en remoción, requiriéndose el establecimiento de mecanismos para mejorar las características del agua efluente al sistema FIME (Villamizar et al, 2011:20).

Figura 2. Condiciones iniciales de la quebrada La Nacuma



La erosión en el sendero aledaño al cauce y la escorrentía superficial incrementan la cantidad de sólidos del agua de entrada al sistema, generando la colmatación de los filtros y por ende, la disminución de la eficiencia en remoción de indicadores, principalmente los coliformes totales y fecales, haciéndose necesario la cloración del agua al final del proceso de filtración para garantizar el cumplimiento de la resolución 2115 de 2007.

Los sistemas han sido operados y evaluados fuera de los rangos de diseño en color aparente y turbiedad por la calidad del agua de la fuente de abastecimiento, por ello se proponen como alternativas de mejora la implementación de las presas de control de sedimentos para mejorar las características del agua de la quebrada nacuma y la adecuación de filtros dinámicos de protección para atenuar los picos de turbiedad que ingresan al sistema en días de lluvia.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Sistema de filtración en múltiples etapas modificado: una alternativa técnica y económica

Esta investigación desarrolló un sistema compacto de Filtración en Múltiples Etapas FiME para el tratamiento de fuentes de abastecimiento superficiales. Para el diseño del sistema de potabilización se utilizaron conceptualmente criterios de producción de entropía, buscando aproximarse a una distribución granulométrica ideal para obtener un sistema compacto. Dicho FiME estaba compuesto de prefiltración dinámica en grava, prefiltración ascendente en antracita y filtración lenta en arena. Los resultados de la evaluación técnica mostraron remociones medias alcanzadas para turbiedad (90%), color aparente (86%) y coliformes fecales (99%) (Naranjo, 2009:7).

1.2.2 Sistema de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de polipropileno y concreto

Se implementó el sistema de filtración en múltiples etapas FiME compuesto por las unidades: tanque de entrada, sedimentador, filtro grueso dinámico (FGDi), filtro grueso ascendente (FGA), filtro lento de arena (FLA), tanque de distribución.

Con la operación y el mantenimiento de estas unidades se obtuvieron eficiencias en los indicadores de color aparente 85% y turbiedad 81% de remoción (Ardila et al, 2010: 39).

1.2.3 Implementación pre-tratamiento y retro-lavado al sistema de filtración en múltiples etapas FiME

Se implementó el pre-tratamiento el cual redujo la cantidad de sólidos al ingreso del FiME, ampliando su rango de operación respecto a turbiedad y color aparente. Además, se implementó el sistema de retro-lavado en las unidades hidráulicas de filtración

que componen el sistema, haciendo el mantenimiento más sencillo. Al evaluar los sistemas presentaron eficiencia en remoción en turbiedad del 93% en el de plástico y 94% en el de concreto y una remoción de color aparente del 73% (Villamizar et al, 2011: 122).

1.3 Pregunta problema

¿Cuál es la eficiencia en remoción de los sistemas de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de concreto y plástico en la Hacienda Majavita?

1.4 Justificación

Con el propósito de aminorar las fallas que presentan los sistemas FiME en unidades de concreto y plástico en la Hacienda Majavita, se optó por el desarrollo de la presente investigación en la que se implementaron alternativas de mejora en la fuente de abastecimiento para mejorar la calidad del agua efluente a los sistemas y adecuación de unidades en los mismos para optimizar las condiciones de operación, mantenimiento y eficiencias en remoción de indicadores, facilitando de esta manera el cumplimiento de la resolución 2115/2007, garantizando el suministro de agua potable para así contribuir con el mejoramiento de las condiciones de salud de las comunidades que presentan déficit de abastecimiento de agua para consumo, mediante la disminución de enfermedades de origen hídrico y seguridad sanitaria.

1.5 Objetivo general

Evaluar la eficiencia en remoción de los sistemas de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de concreto y plástico en la Hacienda Majavita implementando alternativas de mejora.

1.6 Objetivos específicos

- Determinar la remoción de los indicadores físicos, químicos y microbiológicos en las unidades de filtración y en los sistemas.
- Comprobar alternativas de mitigación en el control de sólidos en la quebrada Nacuma para el

mejoramiento de la calidad del agua
 . Verificar modificaciones en las unidades del sistema para incrementar la eficiencia y remoción los microorganismos patógenos

2. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

La investigación desarrollada fue cuantitativa con un alcance descriptivo al tener en cuenta el comportamiento de los sistemas de filtración a partir de las unidades que los componen, también se definieron variables como la remoción en el tiempo, controlando los parámetros caudal, carga superficial y velocidad de filtración sin considerar la calidad de agua de ingreso al sistema.

2.3 Variables e indicadores

Para la evaluación del sistema FiME se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

Tabla 1. Definición de variables

Tipo variable	Variable	Unidad
Dependiente	Remoción	%
Independiente	Tiempo de operación	día
	Unidad del sistema	
Interviniente	Calidad del agua	-
	Precipitación	mm

En la tabla 2 se presentan los indicadores para la se determinación de la eficiencia en los sistemas de tratamiento.

Tabla 2. Indicadores de remoción tratamiento FiME

Indicador de remoción	Unidad
Turbiedad	UNT
Color aparente	UPC
Coliformes totales y fecales	UFC/100 ml

2.4 Técnicas e instrumentos

Para llevar a cabo la investigación se utilizaron técnicas cuantitativas para la operación y seguimiento de los sistemas y unidades. Técnicas cualitativas al considerar la calidad del agua mediante la valoración de los indicadores.

2.5 Equipos de medición

Equipos de campo: Cronómetro y botella aforada para la medición del caudal mediante aforo volumétrico.

Equipos de laboratorio: fotómetro, turbidímetro, sensor de potencial de hidrógeno, equipo completo por filtración de membrana, balanza digital para la medición de los indicadores físicos, químicos y microbiológicos como se aprecia en la tabla 3.

Tabla 3. Precisión de equipos de laboratorio

Equipo	Precisión
Fotómetro	+/- 2 UPC
Turbidímetro	+/- 2% de la lectura más la luz difusa en el intervalo 0-1000 UNT
Sensor de pH	+/- 0,005 a temperatura de 15°C - 35°C.
Balanza digital	Clase I

Figura 3. Medición de indicadores



2.6 Componentes de los sistemas FiME

Para la determinación de la eficiencia de los sistemas FiME, las unidades en concreto y plástico evaluadas se presentan en la tabla 4 con las respectivas características hidráulicas promedio, teniendo en cuenta que el caudal de diseño de los sistemas fue 30 ml/s.

Tabla 4. Características hidráulicas de las unidades de filtración

Sistema	Unidad	Caudal	Velocidad de filtración
		ml/s	m/h
FiME plástico	FGDi	29,0	0,75
	FGDe	29,8	0,44
	FLA	26,8	0,23
FiME concreto	FGDi	29,1	0,59
	FGA	27,8	0,66
	FLA	22,5	0,15

Adicional a estas unidades, se utilizaron los presedimentadores instalados a la entrada de cada sistema.

2.7 Procedimiento y muestra

2.7.1 Determinación la remoción de los indicadores físicos, químicos y microbiológicos

Se realizaron labores de mantenimiento a las unidades de los sistemas FiME mediante proceso de retro lavado para la limpieza de lechos filtrantes y lavado de las botellas de los presedimentadores con el propósito de mantener las unidades en condiciones apropiadas de operación. La remoción de los indicadores se evaluó a partir de 13 monitoreos ejecutados cada 20 días durante 11 meses (febrero a diciembre de 2012), en los cuales se efectuó la medición de caudal en cada unidad de filtración y se tomaron 143 muestras compuestas para la valoración física, química y microbiológica del agua, siguiendo el protocolo del Laboratorio de Aguas de la Universidad Libre. Una vez obtenidos los resultados se realizó la aplicación de la estadística descriptiva

para la interpretación y análisis de la eficiencia en remoción de los respectivos indicadores.

2.7.2 Alternativa de manejo en la zona vertiente de la quebrada Nacuma

Se realizó un recorrido por la fuente de abastecimiento con el fin de establecer el diagnóstico de la vertiente. Luego se determinó la clasificación de tipo de suelo mediante análisis granulométrico para conocer sus propiedades y así seleccionar la opción más viable para la reducción de la erosión en el camino por escorrentía superficial; partiendo de esto se hicieron cinco (5) canales de desvío en la zona de ronda para evitar que el agua fuera arrastrada hasta el cauce, impidiendo la contaminación de material orgánico e inorgánico.

Posteriormente se evaluó la alternativa más óptima para el control de sólidos totales mediante la implementación de presas de control de sedimentos que fueron construidas en guadua recubierta con geotextil para la retención de sedimentos, estos fueron evaluados durante nueve (9) días en periodo seco, en donde se tomaron muestras antes y después de cada presa dependiendo del tiempo de retención que osciló entre media hora y dos horas y media, estas muestras fueron llevadas al laboratorio de aguas en donde se valoraron los indicadores de color aparente, turbiedad y sólidos suspendidos totales para identificarla eficiencia de las presas.

2.7.3 Desinfección del agua

Para cumplir con la resolución 2115 de 2007 respecto a las características microbiológica, se optó por la implementación de la unidad de desinfección al final del proceso de filtración para remover los microorganismos patógenos presentes en el agua, mediante la realización de demanda de cloro con hipoclorito de sodio comercial en dilución para la determinación de la dosis.

Una vez hallada la dosis, se diseñó e implementó la unidad de cloración a la salida del sistema plástico, mediante la utilización de accesorios y elaboración de boquillas para facilitar la mezcla, además, para regular la dosis del hipoclorito se hizo necesario un

sistema de micro goteo, en este caso el uso de venoclis. Finalmente se realizó seguimiento mediante toma de nueve (9) muestras del agua clorada para la medición de cloro residual libre, coliformes totales y fecales para revisar el comportamiento del agente químico.

2.8 Análisis de información

Se aplicó estadística descriptiva utilizando diagramas de Box plot y graficas de comportamiento en el tiempo, para la representación de los valores de salida de los indicadores en cada sistema. Además se determinaron las medidas de tendencia central y dispersión como promedio, máximo, mínimo y desviación estándar.

3. RESULTADOS

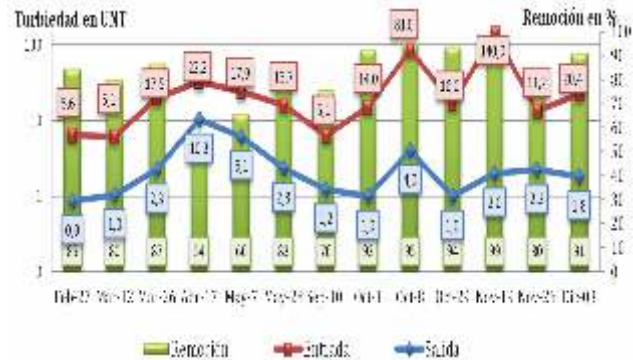
3.1 Remoción de indicadores en el sistema de unidades de plástico.

3.1.1 Sistema en unidades de plástico

En la figura 4 se observan los datos obtenidos de turbiedad en el sistema plástico, presentando un valor promedio de entrada durante los onces meses de 28,43 UNT con una desviación estándar de 38,77 UNT, estando el agua de la fuente de abastecimiento en el rango alto con nivel promedio de 20 UNT a 70 UNT según la OPS/CEPIS 2005. De igual manera, se pueden observar los datos obtenidos de turbiedad en la salida del sistema plástico, mostrando un promedio de 2,78 UNT con una desviación estándar de 2,69 UNT, para obtener remoción promedio de 83%.

El monitoreo realizado el 17 de abril muestra remoción del 54% equivalente a la poca concentración de coloides, los cuales no se logran remover en los sistemas por la porosidad del medio filtrante granular.

Figura 4. Comportamiento turbiedad en el tiempo sistema plástico

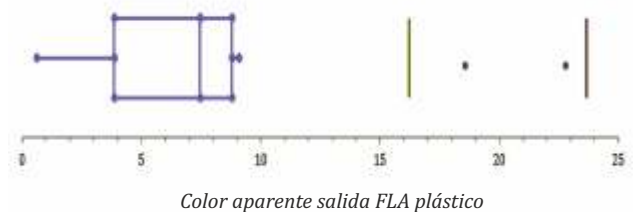


A partir del primero de octubre se observa cambio del comportamiento en remoción del indicador presentando valores superiores al 90% debido a la operación del filtro de protección instalado a la entrada del FIME, exceptuando la eficiencia del 26 de noviembre que mostró menor turbiedad.

En la figura 5 se muestra la dispersión de los valores de salida de turbiedad con un máximo de 4,0 UNT, mínimo de 0,9 presentando una mediana 2,0 UNT indicando que el 50% de los datos cumplen con la valor máximo permisible para este indicador, de acuerdo con la norma resolución 2115/2007.

Además se observan un valor atípico leve de 6,1 UNT y otro atípico extremo de 10,3 UNT incidiendo en el comportamiento de los datos.

Figura 5. Valores de salida color aparente en el tiempo sistema plástico

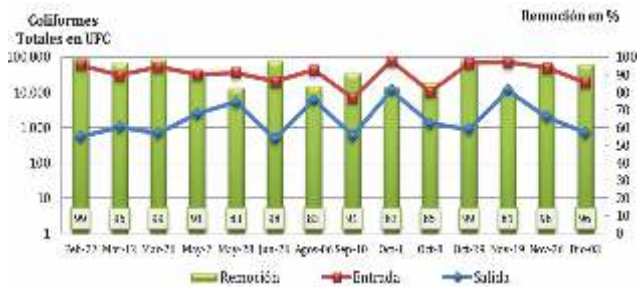


En la figura 6 se muestran los datos obtenidos en el análisis de coliformes totales a la entrada y salida del sistema plástico en donde se realizaron 14 monitoreos presentando un promedio de 38.272 UFC/100 ml de entrada y salida 5.308 UFC/100ml con remoción de 87%.

Además, se presenta una remoción variable del 81% el 19 de noviembre, la cual es equivalente a la poca calidad microbiológica del agua de entrada con valor

de 59.100 UFC/100 ml por encima de valor máximo permisible en el rango alto de 20.000 a 45.000 UFC/100 ml de acuerdo con OPS/CEPIS 2005.

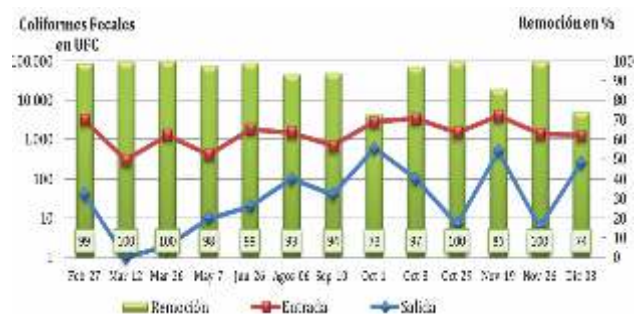
Figura 6. Comportamiento coliformes totales en el tiempo sistema plástico



En la figura 7 se indican los datos obtenidos en el análisis de los coliformes fecales en el tiempo para el sistema plástico, presentando valores promedio de entrada 1.857 UFC/100ml, salida 265 UFC/100ml y 87% de remoción, indicando alta eficiencia en remoción pero no las suficientes para la eliminación total de los microorganismos patógenos, siendo necesario la desinfección con cloro.

Los monitoreos realizados el 10 de septiembre y 26 de noviembre intervienen en la tendencia en remoción de coliformes fecales mostrando valores de eficiencias comprendidas entre 73% y 74% con datos promedio de entrada al sistema de 1.025 UFC/100 ml, estando el agua dentro del rango intermedio de 500 a 10.000 UFC según OPS/CEPIS 2005.

Figura 7. Comportamiento coliformes fecales en el tiempo sistema plástico



3.1.2 Sistema en unidades de concreto

En la figura 8 se observan los datos obtenidos de turbiedad en el sistema de concreto, presentando un valor promedio de entrada durante los onces meses de 28,43 UNT con una desviación estándar de 38,77 UNT, estando el agua de la fuente de abastecimiento en el rango alto con nivel promedio de 20 UNT a 70

UNT según la OPS/CEPIS 2005. De igual manera, se pueden observar los datos obtenidos de turbiedad en la salida del sistema plástico, mostrando un promedio de 1,83 UNT con una desviación estándar de 2,69 UNT, para obtener remoción promedio de 88%.

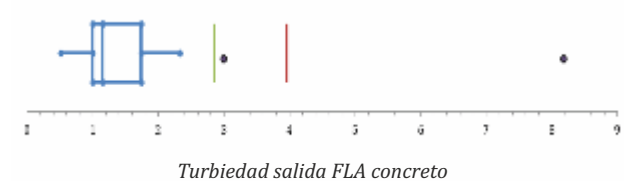
Los monitoreos realizados el 17 de abril y 10 de septiembre muestran remociones entre el 54%- 63% equivalente al pequeño tamaño de partículas coloidales del agua de entrada, las cuales no se logran remover en los sistemas.

Figura 8. Comportamiento turbiedad en el tiempo sistema concreto



En la figura 9 se observa que la mediana de los valores está sesgada hacia la parte izquierda de la caja incidiendo en que el 50% los datos presentan un valor de 1,15 UNT, es decir se encuentran dentro del valor máximo permisible de 2,0 UNT según la resolución. Además se observan un valor atípico leve de 3,0 UNT y otro atípico extremo de 8,2 UNT, los cuales intervienen en el comportamiento normal de los datos.

Figura 9. Dispersión valores de salida turbiedad en el tiempo sistema concreto



Los datos obtenidos durante 11 monitoreos en el sistema en concreto para el indicador color aparente, se muestra en la figura 10, presentando valores promedios de entrada 49,84 UPC y salida de 5,30 UPC equivalente al 89% en remoción con una desviación estándar de 5,46 UPC; demostrando que el 91% de los valores se encuentran en el rango permisible según la Resolución 2115 de 2007.

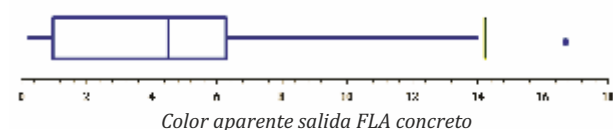
Durante los monitoreos del 27 febrero y 12 marzo se muestran remociones del 69%- 64% por la colmatación de las unidades de filtración.

Figura 10. Comportamiento color aparente en el tiempo sistema concreto



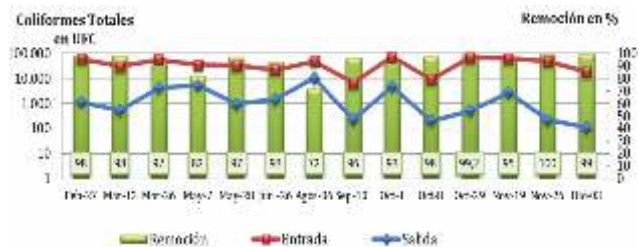
En la figura 11 se muestra la dispersión de los valores de salida de color aparente en el sistema de concreto presentando una mediana de 5,10 UPC y promedio de 5,30 UPC, demostrando el cumplimiento del indicador para el agua efluente del sistema. También se observa un valor atípico leve de 16,7 UPC, el cual se encuentra por fuera del rango de acuerdo con la norma para agua potable.

Figura 11. Dispersión valores de salida color aparente en el tiempo sistema concreto



Se observa el comportamiento en remoción de los coliformes totales en el tiempo para el sistema en concreto, figura 12, obteniendo valores promedio de 90% en remoción, con datos de entrada de 38.272 UFC/100 ml y salida 4.331 UFC/100ml, indicando el incumplimiento del valor máximo permisible de coliformes totales para agua potable de cero UFC/100 ml, según la resolución 2115/2007.

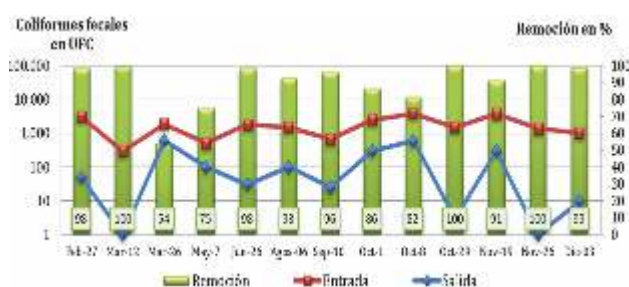
Figura 12. Comportamiento coliformes totales en el tiempo sistema concreto



Los datos obtenidos en el análisis de los coliformes fecales en el tiempo para el sistema en concreto, figura 13, presentó valores promedio de entrada 1.857 UFC/100ml, salida 155 UFC/100ml y 91% de

remoción. Asimismo se muestra que el 80% de los análisis no cumplen con la normativa vigente resolución 2115/2007.

Figura 13. Comportamiento coliformes fecales en el tiempo sistema concreto



3.2 Alternativas de mitigación en el control de sólidos en la quebrada La Nacuma

3.2.1 Comportamiento turbiedad en las presas de control de sedimentos

En la figura 14 se observan los valores promedios y las remociones obtenidas en la turbiedad durante los nueve monitoreos realizados a cada una de las cuatro presas de control de sedimentos, con valores de entrada 41,7 UNT y salida 11,1 UNT mostrando una remoción total del 67% con desviación estándar de 9,93 UNT, indicando que presentó mayor remoción el primero con 31,5% permitiendo de esta manera mejorar la calidad del agua a la entrada de los sistemas FiME debido a que el nivel de colmatación fue menor.

Figura 14. Remoción de turbiedad en las presas de control de sedimentos

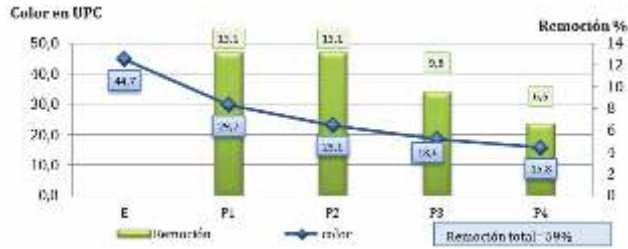


3.2.2 Comportamiento del color en las presas de control de sedimentos

Se observan los valores promedios y las remociones obtenidas en el color aparente, figura 15, durante los

nueve monitoreos realizados a cada presa de control de sedimentos, en donde ingresa 44,7 UPC y sale 15,8 UPC presentando una remoción total del 59% con una desviación de 3,15 UPC.

Figura 15. Remoción de color aparente en las presas de control de sedimentos



3.2.3 Comportamiento de los sólidos suspendidos totales en las presas de control de sedimentos

En la figura 16 se indican valores de entrada 52,8 mg/l y salida 14,9 mg/l con remoción total del 65% con desviación estándar de 6,11 mg/l, quedando retenidos los sólidos en el geotextil. Además se observa la disminución considerable de la remoción en cada presa y que el primero es el más eficiente con un porcentaje de 23,5%.

Figura 16. Remoción de sólidos suspendidos totales en las presas de control de sedimentos



3.3 Desinfección del agua en el FiME

3.3.1 Dosis de hipoclorito de sodio con dilución

Con los valores indicados en la tabla 5 se demuestra la acción desinfectante del NaClO diluido, en el que se presentan remociones promedio de 98,9% para los coliformes totales y 98,4% coliformes fecales y poca

cantidad de hipoclorito que varía entre 1,94 a 3,21 mg/min, indicando eficiencias significativas pero no las suficientes para la destrucción total de los microorganismos patógenos.

Tabla 5. Valores de cloro residual y coliformes con NaClO en dilución

Muestra	Concentración NaClO diluido mg/l	Caudal ml/min	Cantidad mg/min	Coliformes totales UFC/100ml			Coliformes fecales UFC/100ml			Cloro residual mg/Cl2					
				Entrada			Salida (Tiempo contacto hora)			Entrada			Salida (tiempo contacto hora)		
				1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4
1	924,3	2,1	1,94	2100	2	30	10	400	1	1	1	1,2	0,76	1,24	
2	1.158		2,43	700	7	5	5	<100	2	1	1	2,81	1,53	0,92	
3	1.529		3,21	1300	11	6	8	200	2	2	4	2,83	1,76	0,87	

La permanencia activa de estos se ostenta por la inestabilidad de la concentración del producto, haciéndolas resistentes a la acción del desinfectante.

3.3.2. Dosis de hipoclorito de sodio sin dilución

Con los datos de la tabla 6 se comprueba que la acción del NaClO concentrado es mayor que con dilución debido a la destrucción en su totalidad los microorganismos patógenos con un caudal de 0,2 ml/min equivalente a 10,60 mg/l de NaClO, con lo cual se demuestra que a mayor concentración mayor es el poder del desinfectante, aunque llega a un límite en el cual el efecto bactericida permanece constante aun cuando se incrementa la concentración, tal como se observa en la muestras tres (3) donde la dosis fue 0,25 ml/min, en la cual quedaron activos los coliformes.

Tabla 6. Valores de cloro residual y coliformes con NaClO sin dilución

Muestra	Concentración NaClO diluido mg/l	Caudal ml/min	Cantidad mg/min	Coliformes totales UFC/100ml			Coliformes fecales UFC/100ml			Cloro residual mg/Cl2					
				Entrada			Salida (Tiempo contacto hora)			Entrada			Salida (tiempo contacto hora)		
				1	2	4	1	2	4	1	2	4	1	2	4
1	67.000	0,10	6,7	200	4	1	1	<100	0	0	0	2,8	2,7	0,92	
2	53.000	0,20	10,6	400	0	0	0	<100	0	0	0	3,1	2,8	1,24	
3	48.000	0,25	12,0	2100	11	6	8	200	0	0	0	4,5	3,4	0,87	

Basados en esta cantidad, se requieren cuatro botellas de NaClO de 500ml de volumen para la desinfección del agua (30 ml/s) equivalentes a un valor de \$4.400 por semana. A partir de esta cantidad y de la concentración del NaClO se obtiene el caudal por dosificar.

4. DISCUSIÓN

Según Naranjo (2009:7) los valores de salida promedio del sistema de filtración en múltiples etapas modificados fueron 1,38 UNT con desviación 0,38 UNT, 10 UPC con desviación 9,7 UPC y coliformes fecales con datos de 0 UFC/100 ml; con remociones del 90% para turbiedad, 86% en color aparente y 99% coliformes; mientras en el sistema FiME Majavita se alcanzaron valores de salida de 2,78 UNT en el sistema de plástico, 1,83 UNT en concreto con desviaciones estándar de 2,79 UNT y 2,11 UNT, en cuanto a color aparente 7,88 UPC y 5,30 UPC con desviación de 6,78 UPC; para coliformes fecales 266 UFC/100 ml y 155 UFC/ 100 ml; obteniendo remociones de turbiedad del 83% y 88%, color 79% y 89% , coliformes de 87% y 90% equivalentes a cada sistema. Estas eficiencias se deben a las características del agua de la fuente de abastecimiento del FiME Majavita y a los sustratos de las unidades de filtración.

5. CONCLUSIONES

Con la valoración de los indicadores a cada sistema FiME se encontraron remociones de turbiedad del 83% en el sistema plástico y 88% en concreto, color aparente 79% y 89%, coliformes totales 87% y 90%, coliformes fecales 87% y 91%; siendo una alternativa de tratamiento eficiente en la remoción de contaminantes y mejoramiento de la calidad de agua para abastecimiento.

En el sistema plástico se obtuvo valor de salida en color aparente de 7,9 Pt/Co con remoción del 70%, para turbiedad 2,8 UNT equivalente al 83% y coliformes del 87%. En relación con sistema en unidades de concreto que presentó datos de salida de 5,3 Pt/Co con 89% en eficiencia, para turbiedad 1,8 UNT con 88%, coliformes totales remoción del 90% y fecales 91%. Con esto se ratifica la eficiencia del sistema en concreto tanto en indicadores físicos como microbiológicos.

Con el análisis granulométrico de suelo que se realizó en el sendero ecológico, se identificó el tipo de suelo predominante en el sector, equivalente a arenas mal graduadas, es decir, suelo inestable condicionado a factores variables como el estado del tiempo y factores constantes como la pendiente topográfica del terreno. Por otro lado, la implementación de los canales de desvío realizados sobre algunos puntos en el sendero, es una alternativa óptima para disminuir el aporte de sedimentos hacia la quebrada Nacuma, reduciendo el escurrimiento superficial de la ladera y por ende el arrastre de material.

Mediante la adecuación de las presas de control de sedimentos se evidenció la opción más eficiente para abordar el problema de la colmatación de las unidades de filtración del sistema de abastecimiento FiME, permitiendo remociones de 65% sólidos suspendidos totales, 67% en turbiedad y 59% color aparente; con lo cual se mejora la calidad del agua a la entrada del sistema.

Se comprobó que la acción desinfectante con hipoclorito de sodio, NaClO sin dilución, con una dosis de 2,0 mg/l para ciertas condiciones del agua, es capaz de destruir en su totalidad los microorganismos patógenos medidos como coliformes totales y fecales, con remoción 100% y valores de cloro residual entre 0,2-3,0 mg/l Cl₂, logrando de esta manera el cumplimiento de la resolución 2115/2007.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan agradecimiento a los Ingenieros Edgar William Tolosa Cetina, Edis Mauricio Sanmiguel, Químicas María Fabiola Arenas, Elizabeth Céspedes y Doctora Martha Lucia Díaz, por orientar y apoyar el desarrollo del proyecto.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ardila Otero, Cesar David; Carrizosa Garzón, Diego y Vega Serrano, Haimar Ariel. 2010. Sistema de filtración en múltiples etapas FIME en unidades de polipropileno y concreto. Revista el Centauro. Expresión libre comunera. ISSN 2027-1212. N° 4. Editorial Universidad Libre Seccional Socorro. Pág 39 - 51.

Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y Desarrollo Sostenible ASOCARS. 2010. Lineamientos metodológicos de referencia para la gestión integral del riesgo y la mitigación y adaptación al cambio climático desde las Corporaciones Autónomas Regionales.

En: <http://I.corporinoquia.gov.co/archivos/2011/ayudas%20y%20estandares/GUIA%20GIR%20-%20CC.pdf>

Avendaño, Andrés Leonardo; Hernández, Edwin Rafael y Vega Serrano, Haimar Ariel. 2011. Características de operación del sistema de filtración en múltiples etapas FIME Hacienda Majavita. Revista el Centauro. Expresión libre comunera. ISSN 2027-1212. N° 5. Editorial Universidad Libre Seccional Socorro. Pág 9-20.

Guhl Nannetti, Ernesto. 2006. Peligros y soluciones a la escasez y contaminación creciente del agua. En: http://www.ambiental.net/noticias/contaminacion/A_guaEscasezContaminacion.htm

Martínez Castillo, Aleida. 2009. Filtración en Múltiples Etapas como Tecnología Apropiada para la potabilización de agua en una comunidad rural de Honduras.

En: http://prueba2.aguapedia.org/master/presencial/pfm/proyecto_fime/memoria%20FIME%20EI%20Naranjal.pdf

Naranjo Fernández, Darío. 2009. Sistema de filtración en múltiples etapas modificado: una alternativa técnica y económica. Grupo de ingeniería y gestión ambiental GIGA, facultad de ingeniería, universidad de Antioquia. Pág7.

Rivera Posada, José Horacio. 2001. Construcción de presas de control de sedimentos vivos para conducción de aguas de escorrentía en zonas tropicales de ladera. En: http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap12.pdf

Villamizar Garzón, Luis Carlos; Cristancho Duarte, Joaquín Eduardo y Vega Serrano, Haimar Ariel. 2011. Implementación pre tratamiento y retrolavado al sistema de filtración en múltiples etapas FIME Hacienda Majavita. Informe final pasantía. Pág. 122.